

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-317639

(43)Date of publication of application : 15.11.1994

(51)Int.Cl.

G01R 33/12

G01R 33/16

(21)Application number : 05-130010

(71)Applicant : MITSUI MINING & SMELTING  
CO LTD

(22)Date of filing : 07.05.1993

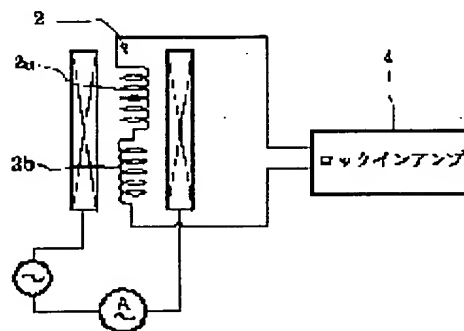
(72)Inventor : ITO MINEO  
OYAMA TAKU  
HOSHINO KAZUTOMO  
MINEMOTO TAKUMI

## (54) METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING INITIAL RELATIVE MAGNETIC PERMEABILITY

### (57)Abstract:

PURPOSE: To measure the initial relative magnetic permeability at a low temperature and its frequency dependence with good accuracy.

CONSTITUTION: Voltages produced at both ends of the paired differential coils when a high temperature superconductor and a measurement sample are separately inserted in the atmosphere below the superconductive transition temperature of a high temperature superconductor in the paired differential coils 2 having two differential coils 2a, 2b which are disposed in a uniform alternating magnetic field and differentially connected to each other are measured through a lock-in amplifier 4. According to the measurement values, the initial relative magnetic permeability of the measurement sample is obtained.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-317639

(43)公開日 平成6年(1994)11月15日

(51)Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 R 33/12	Z A A Z	8203-2G		
33/16	Z A A	8203-2G		

審査請求 未請求 請求項の数 4 F D (全 4 頁)

(21)出願番号 特願平5-130010

(22)出願日 平成5年(1993)5月7日

特許法第30条第1項適用申請有り 1992年11月7日、社団法人日本応用磁気学会発行の「第16回日本応用磁気学会学術講演概要集」に発表

(71)出願人 000006183

三井金属鉱業株式会社

東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号

(72)発明者 伊藤 峯雄

京都府八幡市男山竹園5番地110-106

(72)発明者 大山 卓

大阪府堺市津久野町2丁目22-8

(72)発明者 星野 和友

埼玉県上尾市大谷本郷441-19

(72)発明者 峯本 工

兵庫県西宮市甲子園二番町6-27

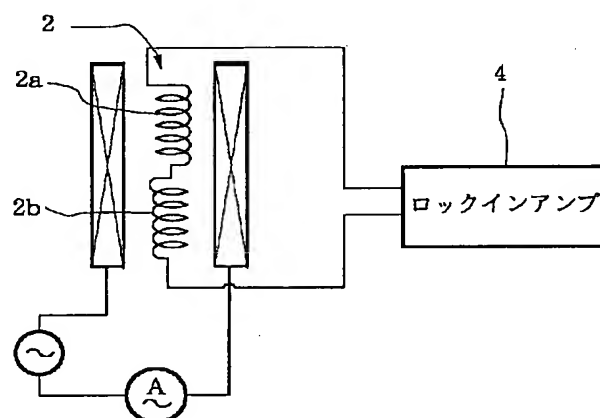
(74)代理人 弁理士 伊東 辰雄 (外1名)

(54)【発明の名称】 初比透磁率の測定方法および装置

(57)【要約】

【目的】 低温における初比透磁率およびその周波数依存性を精度良く測定することができるようにする。

【構成】 均一な交番磁界内に配置され差動的に接続された2つの差動コイル2a、2bを有する差動コイル対2内に高温超伝導体の超伝導遷移温度以下の雰囲気において高温超伝導体および被測定物を別々に挿入したときにそれぞれ差動コイル対の両端に生じる電圧をロックイン・アンプ4を介して測定し、これら測定値に基づき被測定物の初比透磁率を求める。



#### 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 均一な磁場を形成するための励磁コイルと、差動的に接続された 2 つの差動コイルからなり、前記励磁コイルが形成する均一な磁場内に配置される差動コイル対と、

この差動コイル対に生じるコイル電圧をロックイン・アンプを介して測定するコイル電圧測定手段と、

前記均一な磁場内に配置された差動コイル対内に挿入され、かつ高温超伝導体の超伝導遷移温度以下の雰囲気中に配置されたとき、差動コイル対に生じる電圧が前記コイル電圧測定手段によって測定される高温超伝導体とを備え、

この測定値と、同様にして被測定物について測定されるコイル電圧とが被測定物の初比透磁率の測定値を決定するのに用いられることを特徴とする初比透磁率の測定装置。

【請求項 2】 前記超伝導遷移温度以下の雰囲気とするために、高温超伝導体および被測定物は、測定時に液体窒素室内に配置されることを特徴とする請求項 1 記載の測定装置。

【請求項 3】 均一な交番磁界内に配置され差動的に接続された 2 つの差動コイルを有する差動コイル対内に高温超伝導体の超伝導遷移温度以下の雰囲気において高温超伝導体および被測定物を別々に挿入したときにそれぞれ差動コイル対の両端に生じる電圧をロックイン・アンプを介して測定し、これら測定値に基き被測定物の初比透磁率を求めることを特徴とする初比透磁率の測定方法。

【請求項 4】 前記超伝導遷移温度以下の雰囲気とするために、高温超伝導体および被測定物は、測定時に液体窒素室内に配置されることを特徴とする請求項 4 記載の測定方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は超伝導体の完全反磁性を利用し、これを標準試料として被測定物の低温における初比透磁率を測定するための新規な測定方法および装置に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 超伝導材料は、臨界温度以下でゼロ抵抗、完全反磁性、ジョセフソン効果等の特性を示す材料である。なかでも酸化物超伝導体は液体窒素温度以上で超伝導を示す材料として各種の応用が期待されている。完全反磁性を利用した磁気遮蔽体への応用もその 1 つである。超伝導体を磁気遮蔽体として用いる場合、従来の強磁性磁気遮蔽体との併用により、広い応用範囲が期待できる。ただし、このような場合には、強磁性体を超伝導体と共に液体窒素温度に冷却して使用するが多い。液体窒素温度に冷却した場合、強磁性体は室温とは

異なる磁気シールド率を示す。

【0003】 強磁性体の磁気シールド率  $S$  は、厚さ  $t$  と初比透磁率 ( $\mu_{si}$ ) に比例するため、初比透磁率の大きさを求めることがシールド率を評価する上で必須である。また、遮蔽したい磁場の周波数（例えば生体磁気計測などでは 10 Hz 以下等）に対する初比透磁率を求める必要があり、このため周波数依存性が重要となる。このように強磁性体の磁気シールド率を評価するためには初比透磁率を知らなければならず、特に強磁性体を液体窒素温度で使用する場合には、液体窒素温度での初比透磁率を求める必要がある。

【0004】 そして従来、初比透磁率の測定方法としては、例えばリング状試料にコイルを巻き付け、これをマクスウェルブリッジ回路で測定する方法が知られている。

##### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、この方法によれば、測定が煩雑で、低温での測定も困難であるという問題がある。

【0006】 本発明の目的は、このような従来技術の問題点を鑑み、低温における被測定物の初比透磁率およびその周波数依存性を精度良く測定することができる初比透磁率の測定方法および装置を提供することにある。

##### 【0007】

【課題を解決するための手段】 この目的を達成するため本発明では、均一な交番磁界内に配置され差動的に接続された 2 つの差動コイルを有する差動コイル対内に高温超伝導体の超伝導遷移温度以下の雰囲気において高温超伝導体および被測定物を別々に挿入したときにそれぞれ差動コイル対に生じるコイル電圧をロックイン・アンプを介して測定し、これら測定値に基き被測定物の初比透磁率を求めるようにしている。

【0008】 液体窒素温度における初比透磁率を求める場合には、高温超伝導体および被測定物は、測定時に液体窒素室内に配置される。

##### 【0009】

【作用】 均一な交番磁界内に配置された差動コイル対内に高温超伝導体および被測定物をそれぞれ挿入した場合に差動コイル対の両端に生じる各コイル電圧の比は、たとえば後述する (3) 式で示されるように、その測定時の磁界の周波数および温度における被測定物の初比透磁率で定まる一定値となる。したがって、高温超伝導体および被測定物それぞれの場合のコイル電圧を測定することにより、その測定時の磁界の周波数および温度における被測定物の初比透磁率が求められる。また、磁界の周波数を変化させながら初比透磁率を求めることにより、初比透磁率の周波数依存性が得られる。すなわち、超伝導体の完全反磁性を利用し、これを標準試料として低温における材料の初比透磁率が簡便に測定される。

【0010】 また、これによれば、液体窒素温度での測

定が精度良く、簡便に行われる。したがって、液体窒素温度で超電導体磁気シールドと併用する場合の磁性体のシールド効果の初比透磁率に基づく推定が簡便に行われる。また、このような磁気シールド率の推定に極めて重要な微小磁場中においても初比透磁率が簡便に測定される。

#### 【0011】

【実施例】以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。図1は本発明の一実施例に係る初比透磁率の測定装置を示す概略図、そして図2はその差動コイル対を示す概略図である。これらの図に示すように、この装置は、均一な磁場 $B_{ex}$ を形成するための励磁コイル1、差動的に接続された2つの差動コイル2aおよび2bからなり励磁コイル1が形成する均一な磁場 $B_{ex}$ 内に配置される差動コイル対2、差動コイル対2に生じるコイル電圧をロックイン・アンプ4を介して測定するコイル電圧測定手段、差動コイル対2内に挿入され、そのとき差動コイ

$$e_s = N \omega \mu_0 H_{ac}(\omega) \pi r^2 (x/L) \quad (1)$$

と書ける。ここで、Nは各差動コイル2aおよび2bの巻数、 $\omega$ は角周波数、 $H_{ac}(\omega)$ は励磁コイル1による均一磁場、 $\mu_0$ は真空中の透磁率、 $r$ は標準試料3の半径、 $x$ は差動コイル対2の中心からの変位、 $2L$ は標準試料3の長さであり、各差動コイル2aおよび2bの長

$$e_m = N \omega \mu_0 H_{ac}(\omega) \pi r^2 (x/L) \mu_{si} \quad (2)$$

となる。前記(1)及び(2)式より、初比透磁率 $\mu_{si}$ は次のように表せる。

$$\mu_{si} = e_m / e_s \quad (3)$$

この(3)式より、コイル電圧 $e_m$ と $e_s$ がわかれば、被測定物の初比透磁率 $\mu_{si}$ を求めることができる。そして、励磁コイル1による均一磁場の角周波数 $\omega$ を変化させながら初比透磁率 $\mu_{si}$ を求めることにより、初比透磁率 $\mu_{si}$ の周波数依存性も求めることができる。

【0016】これによれば、低温において、かつ数ミリガウスの微小磁場中においても磁性体の初比透磁率とその周波数依存性を、精度良くかつ簡便に測定することができる。

【0017】次に、この装置を用いて実際に測定を行った結果を示す。測定に用いた装置のサイズ等は、図2に示す各コイル2aおよび2bの内径 $r_1$ が1.2mm、外径 $r_2$ が14.2mm、標準試料3および被測定物5の半径 $r$ が4mm、各コイル2aおよび2bならびに標準試料3および被測定物5の長さ $2L$ が27mm、各コイル2aおよび2bの巻数が共に1800ターン、インダクタンスが15.6mHであり、標準試料3は、超電導転移温度 $T_c$ が90Kである $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$ の酸化物超電導体で構成してある。

【0018】この構成において、予め、標準試料3および被測定物5を用い、適当な磁界 $B_{ex}$ において、コイル電圧 $e_m$ および $e_s$ と変位 $x$ との関係を調べた。変位はマイクロメータを用いて測定し、これらのコイル電圧 $e$

ル対2に生じるコイル電圧が測定される高温超伝導体で構成された標準試料3とを備える。液体窒素温度(77.4K)における初比透磁率を求める場合には、高温超伝導体および被測定物は、測定時に液体窒素内に配置される。

【0012】この構成において、励磁コイル1により均一な交番磁界を形成し、その磁界内に配置された差動コイル内に、 $Y-Ba-Cu-O$ 超電導体ロッドで構成した標準試料3および磁性体で構成した被測定物5を別々に挿入したときにそれぞれ差動コイル対2の両端に生じるコイル電圧をロックイン・アンプ4を介して測定し、これら測定値に基づき被測定物の初比透磁率 $\mu_{si}$ を求めることができる。

【0013】すなわち、電磁気理論によれば、超電導体ロッドの標準試料3を差動コイル対2の中心に挿入した場合、差動コイル対2の両端間に生じるコイル電圧 $e_s$ は

$$e_s = N \omega \mu_0 H_{ac}(\omega) \pi r^2 (x/L) \quad (1)$$

さでもある。

【0014】同様にして、差動コイル対2に標準試料3と同サイズおよび同形状の被測定物として磁性体ロッドを挿入した場合の差動コイル対2のコイル電圧 $e_m$ は

$$e_m = N \omega \mu_0 H_{ac}(\omega) \pi r^2 (x/L) \mu_{si} \quad (2)$$

#### 【0015】

$e_m$ および $e_s$ と変位 $x$ とが直線関係にあることを確認した。この結果よりコイル電圧 $e_m$ または $e_s$ から $x$ を求めることができる。

【0019】次に、標準試料3を差動コイル対2の中心軸に沿った一定位置( $x = +8$ mm)に挿入し、励磁コイル1による磁場の磁束密度 $B_{ex}$ を $5 \times 10^{-6}$ Tとし、10~20KHzの範囲でその周波数を変化させ、コイル電圧 $e_s$ をロックインアンプ4で測定した。測定温度は77.4Kであった。図3にこの結果を示す。図3中、白丸がこの測定結果としての測定値を示し、直線は前記(1)式から計算した理論値を示す。この図から、コイル電圧 $e_s$ の周波数依存性は、理論値と実験値とが非常に良く一致することがわかる。

【0020】次に、被測定物5として、フェライト、78パーマロイおよび軟鉄について、前記標準試料の場合と同様にして、コイル電圧 $e_m$ を測定した。そして、この結果と前記標準試料について測定したコイル電圧 $e_s$ とに基づき前記(3)式を用い、各測定周波数 $\omega$ について、前記各磁性体の初比透磁率 $\mu_{si}$ を求めた。この結果を図4に示す。同図において、●はフェライト、■は78パーマロイ、□は軟鉄についての値を示す。

【0021】このようにして、従来の測定では困難な、低温での初比透磁率 $\mu_{si}$ およびその周波数依存性が簡便

な方法で測定される。

【0022】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、①比測定磁性体の液体窒素温度での初比透磁率とその周波数依存性を精度良く、かつ簡便に求めることができる。また、②低温での磁性体の初比透磁率を簡単に求めることができるので、例えば液体窒素温度で超電導体磁気シールドと併用する場合の磁性体のシールド効果を簡単に推定することができる。さらに、③磁気シールド率の推定に極めて重要な微小磁場中での初比透磁率を測定することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る初比透磁率の測定装

置を示す概略図である。

【図2】 図1の装置に用いられる差動コイル対を示す概略図である。

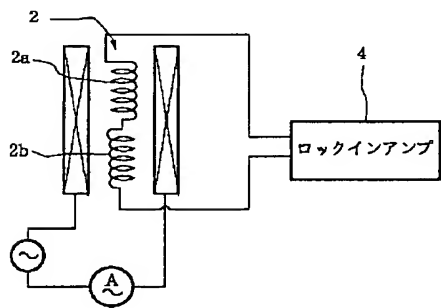
【図3】 図1の装置を用いて測定したYBCO超電導体ロッドのコイル電圧  $e_s$  の周波数依存性を示すグラフである。

【図4】 図1の装置を用いて測定した77.4 Kにおけるフェライト、78パーマロイ、および軟鉄の初比透磁率  $\mu_{si}$  の周波数依存性を示すグラフである。

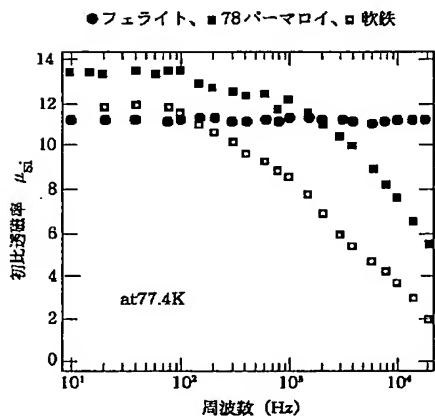
【符号の説明】

1：励磁コイル、2：差動コイル対、2a、2b：差動コイル、3：標準試料、4：ロックイン・アンプ、5：被測定物。

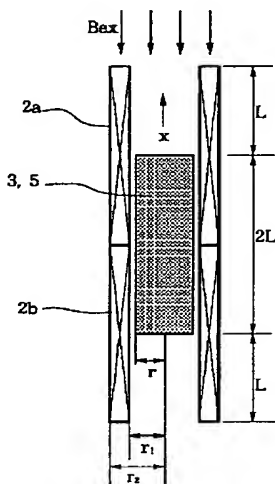
【図1】



【図4】



【図2】



【図3】

